

## RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO Y MÉTODOS DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES ROCOSOS EN FORMACIONES VOLCÁNICAS DEL SUR DE GRAN CANARIA Y FUERTEVENTURA, ISLAS CANARIAS

A. Lomoschitz Mora-Figueroa<sup>1\*</sup>, A. Cilleros Conde<sup>1</sup>, E. Sanz Pérez<sup>2</sup> e I. Menéndez-Pidal de Navascués<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ingeniería Civil  
Escuela de Ingenierías Industriales y Civiles  
Universidad de Las Palmas de Gran Canaria  
[alomoschitz@dic.ulpgc.es](mailto:alomoschitz@dic.ulpgc.es)

<sup>2</sup> Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno  
Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos  
Universidad Politécnica de Madrid

### RESUMEN

*El relieve natural de las islas volcánicas montañosas tiene profundos barrancos, taludes rocosos de pronunciadas pendientes y elevados acantilados costeros. Las formaciones geológicas de origen volcánico incluyen materiales rocosos y suelos muy heterogéneos en cuanto a su disposición espacial y comportamiento geomecánico. Además, en las zonas del sur de Gran Canaria y Fuerteventura, con frecuencia las construcciones civiles y de edificación muestran altos taludes practicados en el terreno y, como resultado, en diversos puntos se ven afectados por desprendimientos de rocas y deslizamientos. En el presente trabajo se muestran dos casos de estudio: 1) Estudio del riesgo de desprendimientos de rocas y métodos de estabilización aplicados en el talud de Los Teques, T.M. de Mogán, sur de Gran Canaria, y 2) Estudio geológico-geotécnico para el proyecto de construcción del paseo peatonal en el acantilado costero de Morro Jable, T.M. de Pájara, sur de Fuerteventura. La variación espacial de las formaciones volcánicas, su grado de soldadura y alteración variables y la dificultad de establecer familias de fracturas características, han hecho que los métodos clásicos de clasificación geomecánica resultaran poco eficaces. En estos casos, el reconocimiento geológico detallado y una estimación del comportamiento geomecánico de los materiales ha sido el método empleado para definir y evaluar las zonas inestables en los taludes y para establecer los métodos de estabilización más convenientes.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Las formaciones volcánicas de las islas Canarias incluyen una gran variedad de materiales (Lomoschitz, 1996, Rodríguez-Losada et al., 2007, Hernández et al., 2012). Con frecuencia los macizos rocosos están formados por coladas lávicas y coladas piroclásticas, de elevada resistencia, y que son consideradas en Geotecnia como “rocas” o “rocas blandas”, según su naturaleza. Pero también incluyen intercalaciones de materiales piroclásticos, sueltos o con un grado de soldadura variable. Además, en los terrenos de Canarias existen niveles de suelos edáficos (residuales) y capas de materiales sedimentarios (fluviales, eólicos, marinos, etc.) que aparecen incluidos en los macizos rocosos, o bien como formaciones superficiales.

Esta amplia diversidad es una consecuencia de la variada génesis de los materiales, que depende del tipo de actividad volcánica y de los factores externos que controlan la dinámica de las erupciones, y del transporte, emplazamiento y removilización de los productos volcánicos (del Potro y Hürlimann, 2007). A esta diversidad se suman los procesos y materiales sedimentarios, principalmente asociados a las zonas costeras y a los barrancos.

En ocasiones, se han empleado perfiles simplificados, representativos de terrenos volcánicos, que muestran una alternancia de coladas lávicas, de media a elevada resistencia, y capas de piroclastos intercaladas, de baja resistencia (Serrano et al., 2008). Sin embargo, las laderas de los terrenos volcánicos son variadas en su geometría y los materiales no se disponen siempre según capas horizontales, si no inclinadas y, con alguna frecuencia, tienen una disposición espacial cónica (conos volcánicos de coladas y piroclastos) a partir de los centros eruptivos. Además, deben tomarse en consideración otras características, como la existencia de juntas (diaclasas) de enfriamiento, que son previas a las juntas de origen tectónico (Blyth y de Freitas, 1984); Schmincke, 2004) y la influencia del espesor de las capas en la capacidad portante del terreno y la estabilidad de los taludes (Lomoschitz, 1996).

En tiempos recientes se han realizado importantes avances en la caracterización geotécnica y el estudio del comportamiento geomecánico de las rocas volcánicas. Han tenido lugar tres reuniones científicas internacionales (I, II & III International Workshop) sobre rocas volcánicas, auspiciadas por la ISRM (International Society of Rock Mechanics), que han tenido lugar en: Funchal, Madeira (Dinis da Gama and Ribeiro e Sousa, 2002); Ponta Delgada, San Miguel, Azores (Malheiro and Nunes, 2007) y Puerto de la Cruz, Tenerife, Canarias (Olalla et al., 2010).

Los trabajos presentados en estos *Workshops* pueden agruparse en cuatro temas principales: a) Caracterización geomecánica de rocas intactas, desde coladas lávicas a piroclastos, que son de una amplia variedad de composiciones y texturas; b) reconocimiento y clasificación geomecánica de formaciones volcánicas; c) modelos de resistencia y deformación de rocas volcánicas; y d) casos de estudio de proyectos y obras de ingeniería civil.



En este trabajo se presentan dos casos de estudio de taludes en rocas volcánicas (Figura 1) con desprendimientos y deslizamientos que afectaban a construcciones existentes o en proyecto. Las tareas realizadas se orientaron a obtener una caracterización geológica, geomorfológica y geomecánica de los taludes, con el objeto de prever posibles movimientos de ladera y ayudar a decidir cuáles eran las soluciones constructivas más convenientes para estabilizarlos o evitarlos.



Figura 1. Mapa de las Islas Canarias orientales y situación (1 y 2) de los dos casos de estudio.

## 2. TALUD DE LOS APARTAMENTOS “LOS TEQUES”, SUR DE GRAN CANARIA

El talud de Los Teques, en el sur de Gran Canaria, se eleva unos 30 m sobre los apartamentos que le dan nombre y tiene unos 105 m. En diciembre de 2005 un bloque rocoso de 11,6 toneladas se desprendió del talud y cayó sobre el pasillo posterior, produciendo un enorme cráter sobre el forjado, afectando a las conducciones generales y a las paredes de dos apartamentos. Antes y después se produjeron desprendimientos menores. Una vez solicitado el estudio del talud por la propiedad, los trabajos se orientaron a: 1) la caracterización geológica de suelos y rocas; 2) la identificación de bloques rocosos inestables y 3) la definición de los métodos constructivos más adecuados, para retener o evitar nuevos desprendimientos, teniendo en cuenta el coste y la efectividad de cada método.

Los materiales geológicos del talud son de tres tipos: a) un aglomerado volcánico de líticos gruesos con cenizas y pómez, que se comporta como una roca blanda, asimismo afectada por una surgencia de agua; b) 2 a 3 coladas ignimbríticas, de resistencia media a alta; y c) coluviones y depósitos de derrubios superficiales. Todas las rocas son de composición traquítico-riolítica y pertenecen al ciclo mágmático I de Gran Canaria, del Mioceno medio. El aglomerado volcánico aflora en la base del talud, con un espesor de 10-15 m. Su elevada pendiente (70-80°) y alto grado de alteración han causado el

socavamiento y descalce de las coladas superiores, que alcanzan 15-20 m de espesor. Estas capas mostraban numerosos bloques inestables con formas variadas (en cuña, columnares y cúbicas).

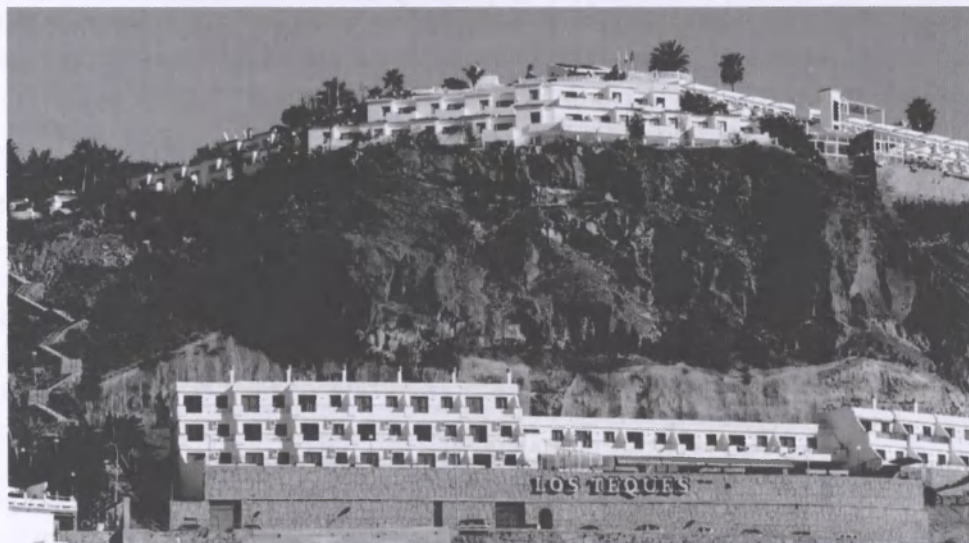


Figura 2. Vista general de los apartamentos "Los Teques" con el talud superior, de unos 30 m de altura y 105 m de longitud.



Figura 3. Operación de retirada del bloque de roca de 11,6 toneladas del pasillo posterior de los apartamentos. Cráter formado por la caída de esta roca.



En el reconocimiento geológico, además de obtener una estimación de la resistencia y el grado de alteración de las rocas, se identificaron los depósitos coluviales. Se analizaron los posibles tipos de desprendimiento y trayectorias, así como la influencia de la escorrentía superficial y subterránea en la estabilidad del talud. Una vez identificados los puntos potencialmente inestables del talud, se representaron en un plano, con el objeto de obtener un mapa de riesgos. Se establecieron 9 zonas con tres categorías de riesgo. Se actuó principalmente en las zonas de riesgo alto y medio.

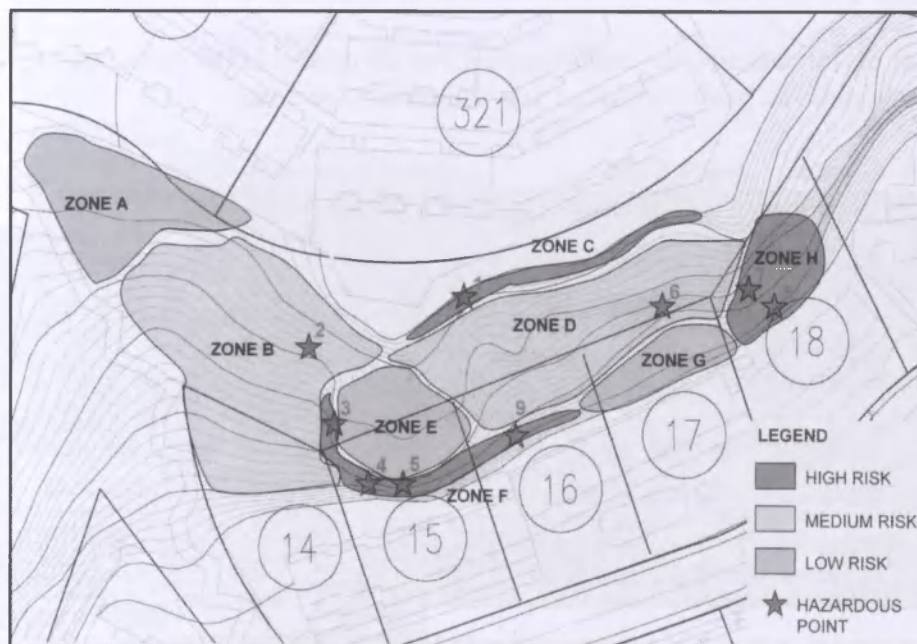


Figura 4. Mapa de riesgos del talud de Los Teques. Los métodos de estabilización se centraron en las zonas de riesgo alto a medio.

Fueron propuestas diversas soluciones para la estabilización del talud, si bien algunas de ellas resultaban excesivamente costosas y generales. Se pensó emplear una variedad de técnicas (bulones, redes de cables, muros de apeo, hormigón proyectado, mallas de triple torsión, drenes, cinturones de cable y barreras estáticas) para ser aplicadas sobre áreas específicas. Con el fin de evaluar el coste de los trabajos de estabilización que eran necesarios, fueron consultadas 5 empresas. Algunas de ellas propusieron soluciones que abarcaban el conjunto del talud, o métodos de estabilización más costosos de los requeridos.

Finalmente, se emplearon diversas técnicas, ajustadas a la necesidad de estabilizar o retener los diferentes desprendimientos posibles. Estas fueron:

- Retirada de piedras sueltas y estabilización de coluviones ( $450 \text{ m}^2$ ).
- Muros de apeo bajo bloques de roca descalzados ( $18 \text{ m}^2$ ).

- 20 drenes inclinados (*californianos*) para reducir la presión de agua en el macizo rocoso.
- Malla de triple torsión para el guiado de pequeñas piedras ( $260 \text{ m}^2$ ).
- Mallas de cable reforzadas y bulones ( $180 \text{ m}^2$ ).
- Barreras estáticas de pequeña altura (1m) para retener los esporádicos flujos de derrubios canalizados por los barranquillos (2 barreras de 15 ml.).
- Cinturones de cable alrededor de columnas de roca inestables (3 zonas).
- Bulones perforados y tensados, en bloques de roca (10 unidades).

El coste final de los trabajos de estabilización fue de unos 45.000 euros, menos de la mitad del coste presupuestado para soluciones más generales y costosas.



Figura 5. Esquema de los métodos de estabilización aplicados en el talud de Los Teques, Sur de Gran Canaria.

### 3. ACANTILADO DE MORRO JABLE Y PROYECTO DEL PASEO PEATONAL, SUR DE FUERTEVENTURA

En 2006 se redactó el proyecto del paseo peatonal costero de Morro Jable, sur de Fuerteventura, con el objeto de unir el puerto con la zona de playas, siendo el área turística principal del sur de la isla. El paseo tendría unos 450 m de largo y debía ser proyectado sobre una estrecha franja de terreno, a lo largo de un acantilado rocoso de 30 m de altura, con numerosas cavernas en su base. Existen zonas con grandes deslizamientos y desprendimientos, que se han producido en materiales volcánicos de diverso tipo.





(a)



(b)

Figura 6 a) Vista general del acantilado de Morro Jable, Sur de Fuerteventura; b) ejemplo de diferenciación de los materiales geológicos presentes en el acantilado (extremo oriental).

El 40% de la traza del paseo podía apoyarse directamente en el terreno, mientras que el 60% restante sería soportado por una estructura metálica de pilas y vigas. Fue necesario un reconocimiento geológico de detalle y una caracterización geotécnica de los materiales, para un adecuado desarrollo del proyecto; debido a la morfología irregular de la costa y el variado comportamiento geotécnico que se esperaba de los materiales. En el estudio fueron incluidos: (a) un mapa geomorfológico de la costa, indicando las zonas con cavernas y deslizamientos, plataforma de erosión rocosa y depósitos de arenas y gravas; (b) una sección geológica del acantilado con una descripción de las coladas y diques volcánicos; (c) localización de cuñas y bloques rocosos inestables; (d) dimensiones volumétricas de las cavernas y cuevas; (e) propuesta de métodos de protección para evitar la erosión costera y de estabilización de las zonas potencialmente inestables; y (f) estimación de la capacidad portante de los suelos y rocas que quedarían por debajo de cada cimiento de las pilas.

El estudio geológico se orientó a las partes que influían en el proyecto: el acantilado rocoso y la plataforma costera afectada por el oleaje y las mareas. La plataforma costera está compuesta de rocas basálticas, que son principalmente cuerpos intrusivos y aglomerados de escorias volcánicas, y también tiene algunos parches de *beachrock* (conglomerados carbonatados) y estrechas playas de gravas y bolos.

Por su parte, el acantilado incluye tres grupos de materiales: a) capas irregulares de aglomerado basáltico de escorias y lapilli, en el primer tercio inferior; b) coladas lávicas de basalto, homogéneas y extensas lateralmente, que componen los dos tercios superiores del acantilado; y c) una serie de diques volcánicos, de composición basáltica y traquítica, que atraviesan las rocas anteriores. Todos estos materiales pertenecen al edificio volcánico mioceno de Jandía, al sur de Fuerteventura.

Al reconocimiento geológico de los materiales se añadió un mapa geomorfológico de la zona, que resultó de gran utilidad para delimitar las soluciones constructivas adoptadas en el proyecto (Figura 7).



Figura 7. Mapa geomorfológico del acantilado y plataforma mareal de Morro Jable.

La descripción geológica y del comportamiento geomecánico de los materiales incluyó una estimación de la capacidad portante del terreno en aquellos puntos que servirían de apoyo a los soportes de la estructura (Figura 8).



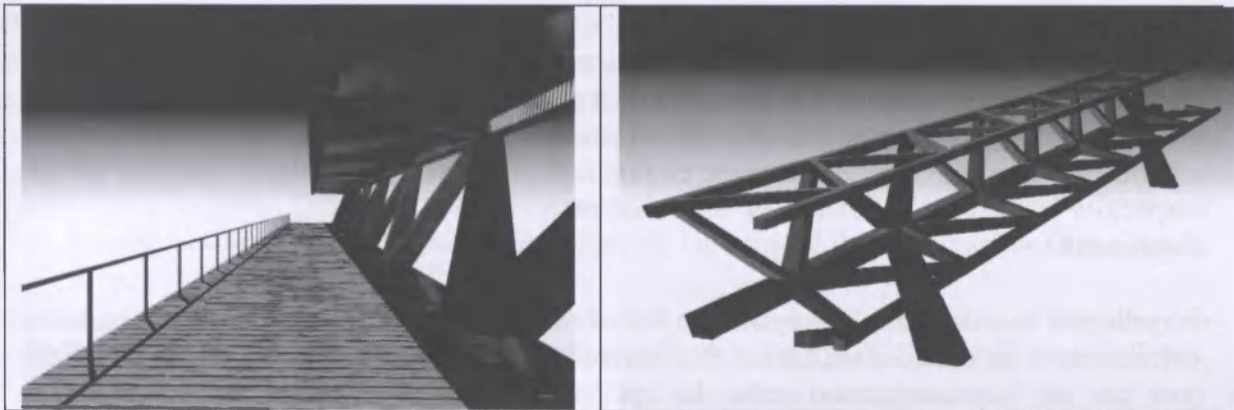


Figura 8. Imagen 3D del tramo en pasarela del paseo peatonal. La estructura consiste en una serie de pilas de hormigón armado inclinadas y con forma de Y, y dos bandejas de vigas metálicas en celosía, donde descansan los tabloncillos de madera tratada del paseo y la cubierta, a modo de visera (cortesía de Jofrahesa, S.A.)

Además, a lo largo de la costa acantilada, por donde discurre la traza del proyecto, existen una serie de zonas potencialmente peligrosas:

- 2 zonas han sido afectadas por grandes movimientos de ladera: la primera al Oeste, de 20 m de alto y 60 m de largo, afectó a una sucesión de coladas basálticas que sufrieron el vuelco y caída de bloques decamétricos de roca; y la segunda al Este, de 18 m de alto y 40 m de largo, ha ocasionado un flujo de derrubios a partir del aglomerado de escorias volcánicas. La causa ha sido la socavación del mar en la base del acantilado.
- 7 zonas resultan inestables en diferentes puntos de la pared del acantilado, pues forman cuñas y columnas de roca.
- 9 zonas con cavernas y cuevas en la base del acantilado.
- 3 zonas del acantilado con un alto grado de meteorización y, por ello, muy erosionables.

Cada zona fue identificada y medida, y se buscó una solución constructiva adecuada a sus características propias. Por ejemplo: contrafuertes de hormigón y muros de piedra para soportar las cuevas y cavernas, quedando así protegidas frente a la erosión marina; limpieza de bloques sueltos de roca en puntos determinados; relleno con mortero de cemento de las juntas de roca abiertas, combinado con bulones perforados en los bloques de roca; malla de cable reforzada y anclada con bulones sobre una zona de roca fracturada; etc.

#### 4. CONCLUSIONES

Los dos casos descritos sirven de ejemplo para mostrar que los taludes rocosos en formaciones volcánicas con frecuencia no siguen unas pautas homogéneas ni simples (en términos de geometría, espesor e inclinación de las capas, densidad de fracturación, grado de

meteorización, etc.). En estos casos, se comprueba que los métodos clásicos de caracterización del macizo rocoso (levantamiento de estaciones geomecánicas y empleo de clasificaciones geomecánicas) resultan ineficaces, pues se basan en parámetros difícilmente medibles en la realidad (resistencia de la roca matriz, muy variable; medida de la fracturación a partir de juntas que han de agruparse en familias, a veces inexistentes; orientación del talud respecto a las fracturas preferentes, difícil de determinar; y presencia de agua, a veces muy localizada).

Por ello, en la redacción de proyectos e informes de estabilización de taludes en materiales volcánicos, si las medidas realizadas en el terreno con los métodos clásicos no resultan fiables (por no ser representativas) cabe la opción de emplear métodos más “artesanales” (descriptivos o semi-cuantitativos) en el reconocimiento geológico-geotécnico de los taludes. Estos métodos incluyen: 1º) la descripción geológica detallada de los materiales; 2) la evaluación del comportamiento geomecánico previsible de los mismos; y 3) la identificación de zonas potencialmente inestables, por desprendimiento, deslizamiento, flujo, etc. Una vez conocido el tipo de proyecto que se quiere ejecutar (o bien las construcciones que se encuentran en riesgo); estos reconocimientos geológico-geotécnicos permiten establecer las zonas con diverso grado de riesgo y adoptar las soluciones de estabilización más convenientes.

### Agradecimientos

Debemos agradecer la buena disposición de los directivos de Vista Noruega, S.L., propietaria de los apartamentos Los Teques (Gran Canaria), por permitirnos utilizar datos y figuras del informe que realizamos en su día. Así mismo, reconocemos el buen hacer y consejos prácticos de los técnicos de INACCÈS Geotécnica Vertical, S.L., empresa encargada de los trabajos de estabilización. Por último, agradecemos al estudio de ingeniería JOFRAHESA, S.A. el permiso para emplear diversa información del “Proyecto de paseo peatonal en Morro Jable, Fuerteventura”, cuyo anejo de Geología y Geotecnia nos encargaron.

### REFERENCIAS

- Blyth, F.G.H. & de Freitas, M.H. 1984. *A Geology for Engineers*. London: Edgard Arnold. 326 pp.
- del Potro, R. and Hürlimann, M. 2007. Strength of volcanic rock masses in edifice instability: Insights from Teide, Tenerife. In A.M. Malheiro & J.C. Nunes (eds), *Volcanic Rocks*. Taylor & Francis Group, London, 175-184.
- Dinis da Gama, C. and Ribeiro e Sousa, L. (editors), 2002. *EuroRock 2002, Workshop on Volcanic Rocks*. Funchal, Madeira, Portugal. 27 November 2002. Sociedade Portuguesa de Geotecnia, Lisboa, 164 pp.



- Hernández, L.E., Rodríguez Losada, J.A., Olalla, C., Santamarta, J.C., Rodríguez, J. y Pomares, M.J., 2012. Unidades geotécnicas y problemas asociados en terrenos volcánicos. *Ingeopres*, 184:18-22.
- Hernández, L.E., Rodríguez Losada, J.A., Olalla, C., Santamarta, J.C., Rodríguez Martín, J., Pomares, M.J., 2012. Unidades geotécnicas y problemas asociados en terrenos volcánicos. *Ingeopres* 184: 18-22.
- Lomoschitz, A. 1996. *Caracterización geotécnica del terreno, con ejemplos de Gran Canaria y Tenerife*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 36 pp.
- Malheiro, A.M. and Nunes, J.C. (editors), 2007. *Volcanic Rocks*, 2<sup>nd</sup> International Workshop on Volcanic Rocks. Ponta Delgada, Azores, Portugal. 14-15 July 2007. Taylor & Francis Group, London, UK., 208 pp.
- Olalla, C. Hernández, L.E., Rodríguez-Losada, J.A., Perucho, A., and González-Gallego, J. (editors), 2010. *Volcanic Rock Mechanics*, 3rd. International Workshop on Volcanic Rocks. Puerto de la Cruz, Tenerife (Canary Islands), Spain. 31 May – 1 June, 2010. Taylor & Francis Group, London, UK., 356 pp.
- Rodríguez-Losada, J.A. Hernández-Gutiérrez, L.E. Olalla, C. Perucho, A. Serrano, A. and del Potro, R., 2007. The volcanic rocks of the Canary Islands. Geotechnical properties. In: A.M. Malheiro & J.C. Nunes (editors), *Volcanic Rocks*. London: Taylor & Francis Group, 53-58.
- Schmincke, H-U. 2004. *Volcanism*. Berlin: Springer. 325 pp.
- Serrano, A. Olalla, C. y Perucho, A. 2008. Estabilidad de taludes en materiales heterogéneos. *II Jornadas Canarias de Geotecnia*, Tacoronte, Tenerife, 21-23 Mayo 2008, 7 pp.